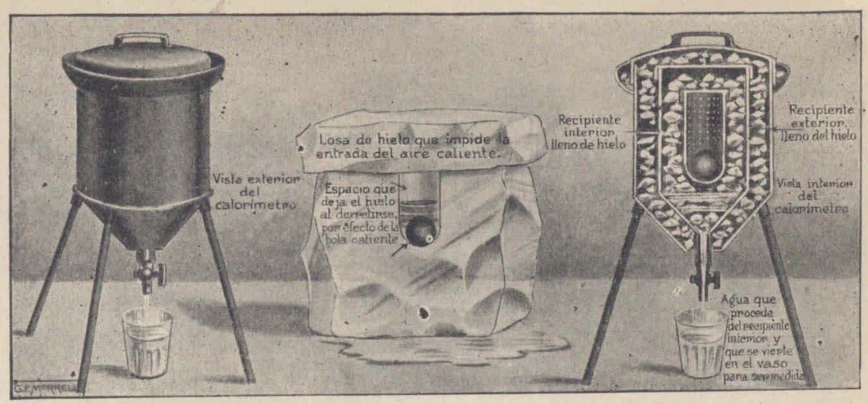


Estos grabados nos muestran un calorímetro sencillo, visto por fuera y por dentro; este instrumento sirve para medir la cantidad de calor contenida en un cuerpo, así como el termómetro sirve para medir el nivel de ese calor, o sea la temperatura. La cantidad de hielo derretido nos indica la del calor. La figura de en medio nos explica de qué modo funciona el instrumento.

EL CALOR Y LA TEMPERATURA

HAY muchas cosas que debemos aprender relativas al calor. Conviene que, en primer lugar, nos hagamos cargo de la diferencia entre el calor y la temperatura. La palabra termómetro significa « Medidor de calor », a pesar de que este instrumento no mide la cantidad de calor, sino tan sólo su nivel, del mismo modo que pudiera medirse la altura de una porción de agua y apuntar el nivel a que se halla, sin mencionar si se trata de un pozo o de un océano. Para nada tenemos en cuenta en tal caso la cantidad de agua, como para nada tenemos en cuenta, al emplear un termómetro, la cantidad de calor. No tardaremos en ver de qué modo puede ser medida esa cantidad de calor; pero es preciso que antes averigüemos lo que se entiende por *calor latente.*

Por regla general, cuando a un cuerpo se le añade o quita cierta cantidad de calor varía su temperatura. Parecería natural que esto sucediera siempre, es decir, que fuese imposible añadirle calor a un cuerpo sin ponerlo más caliente, o quitárselo sin ponerlo más frío.

No obstante, puede demostrarse fácilmente que esto es posible, como asimismo que no queda vulnerada con ello la ley de conservación de la energía, y la de que en la naturaleza todo tiene su causa y razón suficiente. Si tomamos una porción de hielo en su punto de fusión y le añadimos calor, su temperatura no se elevará; o si tomamos cierta cantidad de agua en su punto de congelación, le podremos quitar calor sin que baje la temperatura, con tal de que el agua contenga un trozo de hielo, por pequeño que sea; y, si se trata de una mezcla de agua y de hielo, la temperatura permanecerá invariable por más que quitemos o añadamos calor. Por último, podemos tomar una cantidad de agua líquida en su punto de ebullición, al aire libre, y añadirle, sin que se caliente, cualquiera cantidad de calor; el agua líquida desaparece, convirtiéndose en vapor, el cual se hallará precisamente a la misma temperatura que se hallaba el líquido.

Todos estos hechos son ejemplos de lo que se llama calor latente. Los principios expuestos se aplican igualmente al agua y a todas las demás substancias. Ahora bien; al considerar cada uno de dichos ejemplos, se observa que, si bien no varía la temperatura del agua, sufre un cambio completo el estado en que se halla. En el primero vemos que el hielo se convierte en agua líquida; en el segundo convertimos el agua líquida en hielo; y en el tercero, esa agua líquida se transforma en vapor.

La siguiente difinición de lo que es el calor latente, aunque algo larga, resulta

perfectamente clara: «El calor latente es la cantidad de calor que debe comunicársele a un cuerpo que se halla en uno de los tres estados definidos de la materia, para hacerlo pasar a otro cualquiera de esos tres estados, sin que varíe su temperatura». Esto es precisamente lo que demuestran los ejemplos mencionados. Diríase que el calor desaparece cuando lo añadimos al hielo y convertimos ese hielo en agua, cuya temperatura es igual a la de aquél; por eso decimos que el calor se ha hecho *latente*, palabra que en latín significa «oculto».

Lo contrario del calor latente es el *calor sensible*, empleándose esta palabra en su sentido verdadero, es decir, teniendo presente que una cosa es sensible o perceptible cuando se puede «sentir», o sea percibir. De manera que, cuando se añade calor a un cuerpo para calentarlo, decimos que ese calor es sensible o perceptible; pero, si al comunicarle calor no varía su temperatura, decimos que ese calor se ha convertido en calor latente. Conviene que desde un principio nos hagamos perfectamente cargo de que, si el calor que comunicamos a un objeto no altera su temperatura, habrá de cambiar su estado; es preciso que, en todos los casos, demos cuenta de lo que le ocurre al calor. Citaremos, acerca del particular, las sencillas palabras con las cuales Lord Kelvin nos explica lo que es el calor latente; y la misma sencillez del lenguaje que emplea es prueba patente de su dominio del asunto.

EL CALOR PERCEPTIBLE Y EL CALOR QUE NO PUEDE PERCIBIRSE

«De modo que, cuando el calor que comunicamos al agua la calienta, sentiremos ese calor, si metemos la mano en ella. Si se coloca una vasija llena de agua caliente junto a otra que contenga una mezcla de agua y hielo, nuestra mano percibirá el calor, si la metemos primero en la una y después en la otra. Si luego vertemos el agua caliente en la vasija llena de agua y hielo, y la agitamos por un momento, nuestra mano no sentirá calor, a menos que la cantidad de agua caliente sea suficiente para derretir todo el hielo; notaremos, por el contrario, que la temperatura es la misma que al principio en la vasija llena de agua y hielo. Así, pues, el calor que sentíamos en la vasija de agua caliente ha dejado de ser perceptible en lo tocante al agua contenida en dicha vasija, sin que por eso lo percibamos en la otra. Por lo tanto, puede decirse, que ha pasado ese calor al estado latente».

Los hechos relativos al calor latente nos facilitan un medio para medir el propio calor, pues midiendo la cantidad de hielo que puede convertirse en agua sin que varíe la temperatura, sabremos que cuanto mayor sea la cantidad de hielo derretido de este modo, mayor será la cantidad de calor que deberemos emplear. No importa la forma en que se aplique el calor; siempre podremos medirlo perfectamente. Una cantidad determinada de hielo puede convertirse en agua que esté a la misma temperatura, sea poniéndolo en contacto con un poco de agua muy caliente, o bien derritiéndolo en una gran cantidad de agua tibia; pero sabemos que las cantidades de calor habrán de ser siempre iguales, porque efectúa el mismo trabajo al convertir la misma cantidad de hielo en agua a la temperatura de la congelación.

LA CANTIDAD DE CALOR CONTENIDA EN UN CUERPO NO ES LO MISMO QUE SU TEMPERATURA

Antiguamente, en los tiempos en que se creía que era un flúido, se le daba al calor el nombre de *calórico*; y al instrumento que sirve para medir el calor se le llama calorímetro. Conviene no olvidemos nunca la diferencia esencial entre un calorímetro y un termómetro: el primero mide la cantidad de calor, y el segundo su nivel.

Actualmente se acostumbra dar el nombre de caloría a cierta cantidad determinada de calor, y esto nos ayudará a recordar la palabra calorímetro. Claro está que en el lenguaje usual, la palabra calor se emplea en ambos sentidos. Al decir «calor latente» nos referimos al propio calor en sí; pero, cuando

hablamos del calor del verano, no nos referimos realmente al calor, sino a la temperatura.

Dos célebres franceses—el gran astrónomo Laplace y el gran químico Lavoisier, decapitado en tiempo de la Revolución—fueron los inventores del primer calorímetro, que servía para medir la cantidad de calor por medio de la cantidad de hielo derretido. El grabado que hay en otra página representa uno de esos aparatos. Podría emplearse, sin embargo, otro procedimiento. Cuando el hielo se convierte en agua a la temperatura de congelación, el calor pasa a ser latente; pero también pasa al estado latente, cuando el agua hirviendo es transformada en vapor; de manera que sería posible construir un calorímetro, cuyas indicaciones dependieran de la cantidad de agua evaporada por el calor que se tratara de medir.

DE QUÉ MODO SE PUEDE MEDIR LA CANTIDAD DE CALOR QUE CONTIENE UN CUERPO CUALQUIERA

También puede medirse la cantidad de calor, prescindiendo del calor latente, o sea tomando una porción de agua, o de otra substancia cualquiera, a una temperatura definida, y observando cuánto sube esa temperatura al tratarse de una cantidad determinada de dicha substancia.

Al considerar la teoría del calor latente, fundándonos en nuestros conocimientos actuales relativos a la materia, observamos que, si bien conviene no desechar la palabra «latente», puede, en cierto modo, dar lugar a una interpretación errónea. Lo cierto es que cuando, al comunicarle calor, el hielo se convierte en agua a la temperatura de congelación, el calor que desaparece se transforma realmente en otra cosa, en algo a lo cual se debe la diferencia entre el agua líquida y el hielo. Este algo es el movimiento de las moléculas del agua líquida; y lo que ocurre realmente es que la forma de movimiento que llamamos calor queda convertido en aquel otro movimiento a que es debida la fluidez del agua.

Asimismo, cuando se convierte el agua hirviendo en vapor a la misma temperatura, añadiéndole calor, y al decir que ese calor ha pasado al estado latente, nos referimos, en realidad, al hecho de que el movimiento calorífico se ha transformado en otra clase de movimiento, el de las moléculas de que se compone el vapor. Sabemos que todos los gases, sin exceptuar el vapor de agua, consisten en moléculas que se mueven con gran rapidez; es de suponer que una parte de su movimiento pertenece a aquella clase especial que constituye lo que llamamos calor, y su proporción será más o menos grande, según el gas esté más o menos caliente.

DE QUÉ MODO EL MOVIMIENTO CALORÍFICO SE CONVIERTE EN EL MOVIMIENTO A QUE ES DEBIDA LA FORMACION DEL VAPOR

Pero, cuando el agua líquida se transforma en vapor a la misma temperatura, ya no contiene movimiento calorífico, sino que el calor que se le ha comunicado se ha convertido en otra especie de movimiento, en esa especie de movimiento que determina la diferencia entre el agua y el vapor. Podemos, sin embargo, conservar la expresión «calor latente», según nos lo ha demostrado Lord Kelvin; y observaremos en tales casos que, obrando acertadamente, es posible recobrar el calor comunicado a la substancia, al par que pierde dicha substancia aquel movimiento especial en cuyo seno permanecía «oculto» el calor absorbido.

Ahora bien; existe otra expresión muy importante que es necesario estudiar, y es la de «*calor específico*». Si tomamos cantidades determinadas de agua y de alguna otra cosa, ambas a la misma temperatura, y les comunicamos cierto calor, observaremos que la otra substancia, sea cual fuere, se calienta más que el agua. La única excepción a esta regla es la del gas hidrógeno. Salvo, pues, este caso, puede decirse que, para calentar agua, es preciso añadirle más calor que a otra substancia cualquiera. Si estudiamos de qué modo se comportan los distintos cuerpos, en lo tocante a ese particular, averiguaremos

lo que se llama su calor específico. Para más comodidad, se toma como unidad el calor específico del agua, resultando así que el calor específico de todos los demás cuerpos, menos el hidrógeno, es inferior a 1.

A QUÉ ES DEBIDO QUE LA MISMA CANTIDAD DE CALOR CALIENTE MÁS UN CUERPO QUE OTRO

Los químicos han descubierto ciertas leyes muy notables relativas al calor específico de las diversas substancias conocidas. No es obra de la casualidad el que la misma cantidad de calor comunicado a iguales cantidades de cobre y de hierro no produzcan la misma elevación de temperatura en ambos elementos.

Se ha everiguado que tales diferencias obedecen a una ley, y que el calor específico de un cuerpo depende, hasta cierto punto, del peso y de las dimensiones de los átomos que lo componen. Si los átomos de un elemento son muy grandes y pesados, se necesitarán menos para constituir un peso dado de ese elemento—digamos un kilo—que para formar el mismo peso de otro elemento cuyos átomos sean más pequeños y ligeros. Cuanto menor sea el número de átomos, tanto mayor será la cantidad de calor que—por decirlo así—les corresponderá a cada uno de ellos; y así es que, cuanto más grandes son los átomos de un elemento, mayor es la elevación de temperatura producida por una cantidad determinada de calor.

Es decir que, cuanto mayor es el tamaño de los átomos, menor es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura hasta un punto dado. Esto se suele expresar en el lenguaje científico, de la manera siguiente: El calor específico de un cuerpo está, por regla general «en razón inversa de su peso atómico». A pesar de que resulta algo difícil a primera vista, es preciso que nos esforcemos por comprender esa célebre ley, pues son extensas sus aplicaciones e importantísimos los principios en que se funda su explicación.

LA CAUSA POR LA CUAL LAS CAFETERAS CONSERVAN TANTO TIEMPO SU CALOR

El elevado calor específico del agua tiene consecuencias muy importantes en lo que se refiere a los detalles prácticos de la vida diaria, siendo ésta una de las propiedades más valiosas de ese compuesto maravilloso. Si hiciéramos el café con cualquier otro líquido que no fuese agua, o si empleásemos también otro líquido para llenar un calentador, observaríamos que se enfriarían mucho más deprisa las cafeteras o los calentadores de lo que suelen hacerlo ahora. El hecho de que el agua tenga un calor específico tan alto, significa—digámoslo así—que puede contener una cantidad muy grande de calor. La cantidad de calor contenida en una porción determinada de agua hirviendo es mayor que la contenida en una cantidad igual de otra substancia cualquiera a la misma temperatura, debido a que su calor específico es más elevado. Esto significa que, si queremos hacer hervir una porción de agua fría, hemos de comunicarle más calor del que deberíamos comunicar a otro cuerpo cualquiera; y asimismo que, cuando haya hervido, el agua contendrá mucho calor y tardará en volver a enfriarse.

EL CALOR ES ALMACENADO POR EL AGUA EN PROVECHO NUESTRO

Resulta, pues, que el agua es un poderoso «almacenista» de calor, lo mismo si se trata de una cafetera que de un calentador o del océano que rodea una isla. Ahora vemos con toda claridad a qué se deben las grandes ventajas que ofrecen los climas insulares comparados con los continentales. El agua que hay en torno de las islas no podría producir los efectos que hemos mencionado, si no fuera por su elevado calor específico, a la vez que por su conductibilidad.

El agua, en verano, absorbe grandes cantidades de calor, sin que, relativamente, se caliente mucho. Ningún otro cuerpo podría absorber tanto, a no ser que lo convirtiese en calor latente y pasara al estado gaseoso. Esas enormes reservas de calor acumuladas durante el verano, son devueltas en invierno y

vienen a templar los rigores de aquella estación; y, a pesar de que el mar despide tal cantidad de calor, no llega a enfriarse lo bastante para congelarse.

Aquí debe terminar nuestro estudio del calor. Es asunto acerca del cual no será nunca bastante cuanto lleguemos a averiguar, por ser de inmensa importancia práctica en lo que se refiere a toda maquinaria y al empleo de la fuerza para los fines de la vida humana; y también será poco cuanto aprendamos tocante al calor, si se le considera desde el punto de vista de nuestro concepto del universo y de la historia de la naturaleza.

LA IMPORTANCIA QUE PARA TODOS LOS HOMBRES TIENEN LAS LEYES DEL CALOR

Tal vez no haya en el mundo otro asunto que interese de manera más directa al hombre que desea ahorrarse algunos centavos por peso en los gastos de explotación de una fábrica o en el consumo de bencina de su automóvil y al filósofo que procura descifrar las leyes de la naturaleza. Por eso uno de los hechos más notables del siglo XIX ha sido el descubrimiento de la naturaleza y de las leyes del calor, desconocidas o mal interpretadas hasta entonces por la humanidad.

El descubrimiento de esas leyes es de suma importancia en lo que afecta a la vida diaria de cualquiera de nosotros, y nos ofrece a la vez una demostración de la más grande de las verdades, a que constantemente ha de referirse la ciencia, o sea, que si bien todas las cosas pueden transformarse en otras, y todas las clases de potencia o energía, como el calor, en otras clases de energía, nada puede nunca ser destruído ni creado. Este principio, el más importante de todos los principios en que se funda la ciencia, y que se llama la ley de conservación de la energía, fué previsto, como por una intuición profética, por el más antiguo de los filósofos conocidos en la historia, y ha influído en el desenvolvimiento de la inteligencia humana durante el transcurso de 2500 años.

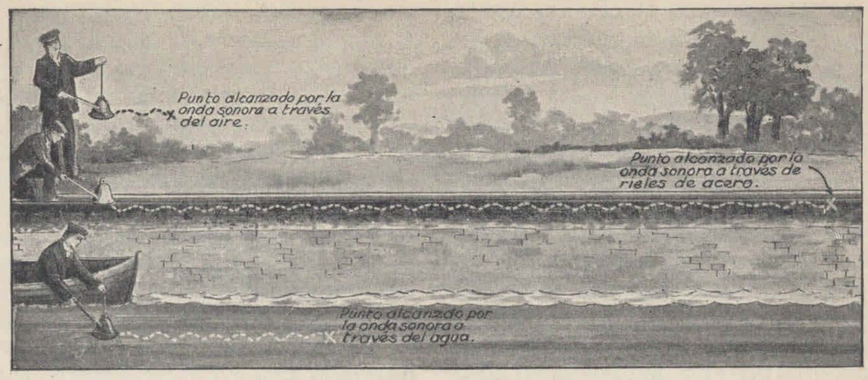
Pero no fué comprobado hasta el siglo XIX, debiéndose su comprobación a los sabios alemanes y a Lord Kelvin, quien dedujo de los estudios de las leyes del calor, realizados por dichos sabios, la relación eterna e invariable que guardan entre sí el calor y las demás formas en que se manifiesta la energía.

EL DESCUBRIMIENTO DE LA LEY, SEGÚN LA CUAL EL CALOR Y LA ENERGÍA NO PUEDEN NUNCA PERDERSE

Hemos visto que el calor no es una «cosa», empleando esta palabra en el sentido que se le suele dar, como se creía en tiempos pasados, sino que es, en realidad, una forma del movimiento. Para que pudiera ser comprobado el gran principio de conservación de la energía, era indispensable descubrir el hecho de que esa forma de movimiento puede convertirse en otras, y de que el cambio se verifica, en una o en otra dirección, sin que se cree ni se pierda nunca nada. Está demostrado ahora lo que se llama la equivalencia del calor y del trabajo.

Igual importancia tiene el descubrimiento de que ciertos cambios químicos producen calor—como los fenómenos de la combustión—mientras otros lo absorben, haciéndolo desaparecer. También en tales casos es posible dar cuenta estricta del calor producido o consumido. Estos ejemplos no son sino otras tantas pruebas más de que nada se crea ni nada se pierde, al verificarse los diversos fenómenos de la naturaleza.





Esta lámina nos muestra las distancias que alcanzarían, en un tiempo determinado, las ondas sonoras producidas por campanas tocadas simultáneamente, según fueran transmitidas por el aire, el agua o el acero.

LAS ONDAS SONORAS

CUANDO estudiamos la luz, aprendimos que un objeto luminoso no lo es sino en relación con la vista que lo percibe. Toda la naturaleza se halla sumida en la oscuridad cuando no hay ojos que puedan ver. Asimismo el «silencio de los espacios celestes» no es nunca interrumpido, si no hay orejas que oigan. Estudiaremos ahora ese algo que hay fuera de nosotros y que impresiona el oído; podemos darle el nombre de sonido, aunque no lo sea realmente hasta que lo ha percibido nuestro nervio acústico.

El sonido, lo mismo que la luz, consiste en un movimiento ondulatorio; y los principios relativos a esa clase de movimientos le son, por tanto, aplicables como a aquéllos,—según veremos más adelante. Pero, en otros particulares, la diferencia entre esos dos movimientos es muy grande. Llamamos *medio* a una cosa cualquiera que sirva para llevar, conducir o trasladar, aunque el sentido que suele darse a esa palabra es muy diferente. Por consiguiente, el sonido, al revés de la luz y del calor de radiación, es un movimiento ondulatorio, que se propaga en un medio o ambiente material. Este medio es con frecuencia el aire, pero podría ser cualquier gas o cualquiera mezcla de gases, algún líquido, como el agua, o un cuerpo sólido.

No pueden producirse sonidos en donde no hay materia, porque el éter no los transmite; de manera que no es posible que ninguna conmoción ocurrida en la luna o en el sol produzca un ruido que podamos percibir, ya que más allá de los límites de la atmósfera terrestre no hay otra cosa que el éter entre nosotros y los cuerpos celestes, y ese éter, si bien transmite la luz, no transmite los sonidos. El hecho de que el sonido consiste en un movimiento ondulatorio, o sea, en una vibración, es de los que pueden comprobarse fácilmente. Si, en efecto, cogemos un cordel por sus dos extremos y le damos un fuerte tirón, observaremos que vibra, produciendo su movimiento, un leve sonido musical.

Lo mismo puede decirse de una cuerda de piano; también son perceptibles las vibraciones de una campana cuando ha sido tocada; y sabemos, por último, que si despues de golpear un vaso, lo tocamos con el dedo, haremos cesar el sonido al mismo tiempo que la vibración, lo cual demuestra que ésta es causa del primero. Cada vez que se mueve la cuerda o la campana, producen en el aire una leve conmoción, originándose una serie de ondas que llegan hasta nuestro oído y se convierten entonces en sonido.

Fácilmente puede demostrarse que es el aire y no el éter el que transmite esas ondas. Si colocamos un timbre eléctrico dentro de una máquina neumática y

empezamos a enrarecer el aire, observaremos que no cambia el aspecto del timbre, porque la luz que lo alumbra se propaga por medio del éter; en cambio, decrecerá gradualmente la intensidad del sonido producido por el timbre, hasta que cese por completo. El timbre sigue vibrando como antes, pero faltándole aire, no puede producir aquellas ondas, a las que damos el nombre de sonido. Si entonces dejamos que poco a poco vuelva a entrar el aire, el sonido se producirá de nuevo. Este sencillo experimento nos enseña no sólo cómo se transmiten los sonidos, sino que la intensidad de los mismos depende, hasta cierto punto, del estado del aire.

Siempre que tengamos ocasión de comparar las velocidades respectivas de la luz y del sonido, observaremos que hay entre ellos una diferencia muy considerable. El fogonazo producido al disparar un cañón situado a gran distancia, se ve varios segundos antes de que se oiga el ruido del disparo. La luz se transmite tan de prisa que por muy lejos que esté el cañón, vemos lo que ha sucedido al cabo de algunas milésimas partes de segundo; pero el sonido se propaga con relativa lentitud, y es fácil calcular cuál es su velocidad.

POR QUÉ ES TRASMITIDO EL SONIDO MÁS DE PRISA UNAS VECES QUE OTRAS

La velocidad de la luz y la de los rayos caloríficos es siempre exactamente igual en todas las circunstancias que nos es dable observar. No sucede así, ni mucho menos, con el sonido, cuya velocidad varía muchísimo según los casos.

Observamos que, en primer lugar, y afortunadamente para el arte musical, la elevación o intensidad de los sonidos no influyen en su velocidad de una manera apreciable. Sería, en efecto, gravísimo inconveniente el que, al escuchar una orquesta, la voz de la flautas llegase a nuestros oídos uno o dos compases antes que la de los contrabajos, a pesar de haberse propuesto el compositor que las oyéramos a un mismo tiempo; o el que una melodía tocada con fuerza por una parte de la orquesta y acompañada suavemente por la otra, llegara a nuestros oídos antes o después del acompañamiento.

La velocidad media del sonido a través del aire es de unos 330 metros por segundo. Al subir la temperatura, el aire se pone algo más elástico—rebota, por decirlo así, más fácilmente cuando se le hiere—atravesándolo, por lo tanto, el sonido con más facilidad. La velocidad del sonido aumenta, pues, un poco al subir la temperatura del aire, mientras no varíe la densidad. Una vez nos hagamos cargo de ese principio de la elasticidad, comprenderemos por qué el sonido atraviesa más rápidamente los líquidos que lo gases, como el aire, y se propaga más deprisa todavía a través de los sólidos.

POR QUÉ SE PROPAGAN LOS RUIDOS MAS DE PRISA POR EL HIERRO QUE POR EL AIRE

Un metal como el hierro, en el estado sólido, tiene muchísima más elasticidad que el aire, y el sonido lo recorre diez y siete veces más de prisa que a este último. Esto significa que unas ondas, de la misma forma que las que atraviesan el aire, traspasan la masa sólida de hierro. Ahora bien; es posible que en este caso, la palabra velocidad dé lugar a confusiones, y, por lo tanto, conviene que expliquemos desde luego—si bien no hemos de tratar de este punto hasta más adelante—que el tono o elevación de una nota musical depende del número de vibraciones que llegan a nuestros oídos en un segundo.

Esto es cosa muy distinta de la rapidez con que los sonidos se propagan por el aire o por la substancia que sea.

Un sonido determinado que se propaga a través del hierro, llegará a nuestro oído diez y siete veces más deprisa que si fuera transmitido por el aire, pero su tono será exactamente igual, porque a pesar de que las vibraciones se transmitan más rápidamente por el hierro que por el aire, el número de dichas vibraciones producidas en cada segundo será el mismo en ambos casos.

Estudiando la intensidad de los soni-

dos, nos hallamos con que la primera ley relativa a dicha intensidad es la misma que la que rige los demás movimientos de carácter ondulatorio, como la luz o el calor de radiación. Esta ley también es aplicable a otras cosas que no son—que sepamos—ondulaciones, como por ejemplo, la gravitación.

POR QUÉ SE OYE MEJOR EN LAS NOCHES FRÍAS Y SERENAS

En el lenguaje científico se formula dicha ley de la manera siguiente: «la intensidad del sonido varía en razón inversa del cuadrado de la distancia». Esto viene a significar, en forma breve y concisa, que si nos alejamos de un foco sonoro a una distancia tres veces mayor que la distancia a que estábamos, la intensidad del sonido no será la tercera, sino la novena parte de lo que era antes, ya que el nueve es el cuadrado de tres. El cuadrado de un número es este mismo multiplicado por sí mismo.

Esto es cuanto debe decirse respecto de fuerzas como la gravitación o la luz; pero tratándose del sonido, intervienen otros factores, pues la densidad del medio a través del cual se transmite es cosa de suma importancia. En las noches muy frías el aire suele ser más denso, observándose, entre otras cosas, que los automóviles andan mejor, porque al motor le es suministrado el oxígeno con más abundancia; otra consecuencia de la densidad del aire es que los sonidos resultan más intensos. Por el contrario, el disparo de un cañón situado a grande altura en las montañas, donde el aire está enrarecido, es parecido al ruido de un petardo, lo cual recuerda el experimento efectuado con el timbre y la máquina neumática.

Cuando hallándonos a orillas del mar contemplamos las olas que embisten contra un acantilado o una escollera, sabemos que pueden rebotar, o sea, ser reflejadas; con frecuencia se rompen y deshacen, dependiendo el efecto producido de la clase de superficie que han encontrado en su curso. Si esta superficie es lisa y plana, observamos que las olas rebotan o son reflejadas como una pelota lanzada contra una pared. Ahora bien; si el sonido consiste realmente en un movimiento de ondulación y si el darle ese nombre es algo más que una simple figuración, es de suponer que puede reflejarse, como las olas del mar; y así sucede, efectivamente.

DE QUÉ MODO LAS ONDAS SONORAS REBOTAN CONTRA UNA PARED

Todos los movimientos ondulatorios pueden sufrir reflexiones, lo mismo si se trata del sonido que de los rayos caloríficos, de la luz o de las olas del mar. Hay leyes que son aplicables a cada uno de esos distintos casos. La primera de estas leyes, formulada en lenguaje científico, es como sigue: «el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia». Esto quiere decir que el ángulo según el cual la ola va a dar en una superficie, es igual al ángulo según el cual es reflejada por esa superficie.

El mismo principio es aplicable a una bola de billar que choca contra la banda de la mesa, o a una pelota lanzada contra una pared. Si lanzamos la pelota de plano, rebotará perpendicularmente a la superficie de la pared; si la lanzamos al sesgo, rebotará según una línea oblicua a esa misma superficie. En el supuesto de que la pared sea plana, de que la pelota no esté animada de un movimiento de rotación, y de que podamos medir los ángulos de incidencia y reflexión, veríamos que son iguales estos ángulos.

Lo mismo es que se trate del sonido, de la luz o del calor radiante. Un punto que conviene tener en cuenta es que el nivel—o, como se dice, el plano—en que la onda hiere la superficie, es el mismo que el plano en que es reflejada por dicha superficie. Supongamos, por ejemplo, que la onda se propagase al nivel de la hoja en que están impresos estos renglones y que fuese a dar oblicuamente en una pared junto al borde del papel; sería, en este caso, reflejada no sólo según un ángulo igual al de su incidencia, sino al mismo nivel que antes, es decir, en el plano del papel sin sufrir desviación alguna hacia arriba ni hacia abajo.

DE QUÉ MODO LOS TRUENOS QUE SE PRODUCEN EN LAS NUBES SON REFLEJADOS POR LA TIERRA

También es aplicable ese principio a la luz y al calor de radiación. Sabido es que los sonidos parecen diferentes, según los percibimos al aire libre o en una habitación cerrada; nuestra propia voz suena de distinto modo según el lugar en que nos hallamos. Todo eso depende de la reflexión de las ondas sonoras. Pero lo que mejor puede demostrarnos el hecho de que se reflejan los sonidos, es fijarnos en el eco.

Uno de los procedimientos que pueden emplearse para averiguar la velocidad de las ondas sonoras consiste, precisamente, en producir un sonido a cierta distancia de una superficie en que pueda repercutir, y observar el tiempo que tarda en llegar a nuestros oídos. Por otra parte, existen ciertos ecos naturales, además de los que provocamos nosotros, siendo uno de los mejores ejemplos de reflexión del sonido el retumbar de los truenos.

El ruido del trueno es debido a la conmoción que producen en el aire los rayos, al saltar de una nube a otra o de una nube a la tierra. Si no hay eco, oímos únicamente un estampido, que corresponde a la descarga instantánea que lo ha causado; y, cuando decimos que retumba el trueno, es que ese estampido repercute cierto número de veces entre las nubes y la tierra.

EL ECO PRODUCIDO POR LOS SONIDOS MUSICALES EN LAS PAREDES DE UNA SALA GRANDE

En los locales destinados a celebrar reuniones o audiciones musicales, los ecos suelen ser con frecuencia gran inconveniente. El que oigamos con debida claridad las palabras de un orador, o el que escuchemos con agrado una pieza de música, depende de que no haya eco alguno que pueda percibirse. En una de las principales salas de concierto de Londres, por ejemplo, es casi imposible apreciar las bellezas de la música, debido a los ecos que se producen en la superficie de su inmensa pared circular.

Así es que, cuando un concertista toca una nota del piano, el sonido repercute en todos los ámbitos de la sala, produciendo el efecto de un arpegio ejecutado rápidamente. Esto, no sólo perturba la audición, sino la misma ejecución de la música. Aun en los casos más favorables, el conjunto resulta siempre más o menos confuso, como cuando un principiante toca una pieza en el piano usando siempre el pedal.

COSAS QUE CONVIENE RECORDAR EN LOS CONCIERTOS Y EN LAS ASAMBLEAS

Todavía es peor, cuando se trata de oir un discurso pronunciado por un orador, pues conviene que en tal caso se perciba distintamente cada sílaba, sin que se confunda con el eco de las palabras anteriores. Es preciso, por lo tanto, valerse de diversos medios para evitar, en lo posible, la reflexión del sonido. Los cortinajes, los tapices, y otras cosas por el estilo, son malos reflectores del sonido y resultan de cierta utilidad; también una serie de alambres tendidos de un lado a otro de la sala encima del auditorio, pueden contribuir al desbaratamiento de las ondas sonoras, impidiendo que, por lo menos, sean reflejadas desde el techo.

La gente misma mejora, con su sola presencia, las condiciones de una sala en que ha de hablarse o cantarse, pues sus cuerpos constituyen por encima del piso una superficie irregular contra la cual vienen a estrellarse las ondas sonoras, del mismo modo que las olas del mar se deshacen al romper contra las aspererezas de un acantilado de una manera más completa que cuando chocan contra una escollera plana.

Se han realizado últimamente en Francia detenidos estudios, los cuales han demostrado de qué modo debe construirse un local para que la reflexión del sonido resulte útil, en vez de ser perjudicial. Cuando las superficies reflectoras distan mucho del orador o del músico, el sonido tarda cierto tiempo en reflejarse, y se percibe claramente el eco; pero, si el sonido se produce muy cerca de una superfice curva, como ocurre en muchas iglesias, el eco o la reflexión lo devuelve tan de prisa que en

vez de percibirlo el oído en forma de ruido perturbador, se funde o se mezcla con el sonido del cual es eco, y aumenta su claridad.

DOS HOMBRES QUE SE HABLARON A UNA DISTANCIA DE MÁS DE UN KILÓMETRO

El principio de los ecos puede tener otras aplicaciones útiles. Consta que dos exploradores de las regiones árticas consiguieron hablarse, mediando entre ellos la distancia de cerca de dos kilómetros, pues la superficie lisa del hielo reflejaba admirablemente sus voces.

La famosa Galería de los Susurros, en el Capitolio de Washington (Estados Unidos), y la Sala de los Secretos del Escorial (España) vienen a ser, en realidad, otros ejemplos del mismo fenómeno. El principio de los ecos o reflexión del sonido es, por último, importantísimo, siempre que se trate de utilizar cualquier instrumento parecido a una trompeta. El uso que hacen los animales de la parte externa de su oreja, así como el empleo de la trompetilla por los sordos, se funda en dicho principio de la reflexión del sonido. El sonido es reflejado de un lado a otro de la trompetilla o de la oreja, hasta que llaga al lugar en donde ha de percibirse.

El principio de la reflexión es igualmente aplicable cuando se trata de usar la trompa, no para recoger el sonido, sino para producirlo, como, por ejemplo, en los portavoces que emplean los marineros o en los que se colocan delante de los fonógrafos.

Sabemos que la luz no sólo puede ser reflejada, sino también desviada de su curso o sea *refractada*. Esto último es lo que ocurre cuando concentramos la luz del sol sobre un papel por medio de un lente; y asimismo en otros muchos casos. Ahora bien; resulta muy interesante averiguar que el sonido puede ser refractado lo mismo que la luz. La refracción de la luz tiene suma importancia y habremos de estudiarla detenidamente; la del sonido no tiene importancia práctica, pero es interesante, porque nos enseña ciertas cosas relativas al movimiento ondulatorio.

EXPERIMENTO LLEVADO A CABO CON UN GLOBO Y UN RELOJ

Si tomamos una gran vejiga, o globo, y la llenamos de gas ácido carbónico, observaremos que esta vejiga produce en el sonido el mismo efecto que una lente de cristal produce en la luz. Las ondas sonoras son desviadas por el gas y se concentran en un punto situado al otro lado del globo, del mismo modo que la luz del sol se concentra o enfoca en el papel por medio de la lente.

Una experiencia muy conocida, efectuada por Lord Rayleigh, quien ha estudiado detenidamente los fenómenos del sonido, consiste en colocarnos frente a un reloj a una distancia tal que no oigamos nada; luego se interpone una vejiga llena de gas ácido carbónico y se le imprime un lento balanceo. Si se encuentra el reloj a la distancia debida, percibiremos su tic-tac cada vez que la vejiga venga a ocupar su posición intermedia y enfoque las ondas sonoras.

